

# Balistique

Charles Camirand

Simulation



Programmation  
Utilisée et  
Conçue pour  
P U C E l'Enseignement

Conception de la maquette: Jocelyn Laplante

L'équipe de PUCE  
Jean-François Desautels  
Françoise Morin  
Lise Ouellon  
Claude Perron  
Isabelle Quentin

Toute reproduction même partielle est interdite. Une copie ou reproduction par quelque procédé que ce soit, photographie, photocopie, polycopie, Offset, micro-film ou autre, constitue une contrefaçon passible de peines prévues par la loi sur la protection du droit d'auteur.  
(Cf Hebdo-Éducation, 15 septembre 1987, no 11)

Imprimé au Canada — ISBN 2-89263-001-0  
Copyright 1983, La Société de Programmation Utilisée et Conçue pour l'Enseignement, PUCE Inc.  
Dépôt légal 2ème trimestre 1983  
Bibliothèque Nationale du Québec  
Bibliothèque Nationale du Canada  
Apple II Pascal, copyright Apple Computer Inc.

<b>1. Mode d'emploi</b>	
1.1 Le matériel nécessaire .....	1
1.2 La mise en marche .....	1
1.3 Le menu .....	3
1.4 L'arrêt .....	5
1.5 Appendices:	
Les options du menu .....	5
Les conditions normales d'opération .....	8
En cas de pépin(s) .....	10

<b>2. Guide de l'élève</b>	
2.1 Au jeu!!! .....	13
2.2 L'attaque systématique .....	13
2.3 Variétés .....	18

<b>3. Guide de l'enseignant</b>	
3.1 Comment commencer .....	22
3.2 Aspects pédagogiques .....	22
Les objectifs .....	22
Quelques justifications .....	22
Le nouveau rôle du professeur .....	23
Quelques modes d'intervention .....	24
L'évaluation .....	25
3.3 Aspects théoriques .....	26
La théorie fondamentale .....	36
La justification des variables .....	27
Les relations pouvant être observées .....	28
L'exactitude des réponses et la méthode de calcul .....	30
Le temps réel .....	30
3.4 Conclusion .....	31

# 1. Mode d'emploi

## 1.1 Le matériel nécessaire

Pour utiliser le programme "Balistique: une simulation animée", vous aurez besoin des éléments suivants:

— un Apple II ou un Apple II plus avec une carte langage ou

— un Apple IIe

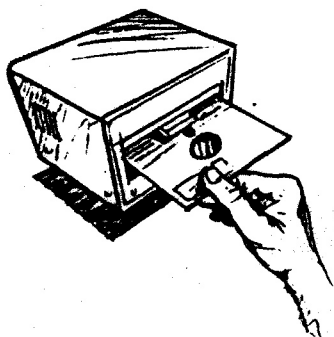
avec l'équipement suivant:

— un lecteur de minidisques 13 cm

— un écran monochrome ou couleur.

Pour travailler sérieusement avec "Balistique: une simulation animée", vous aurez en outre besoin de papier (feuilles lignées et feuilles quadrillées) et de crayons.

## 1.2 La mise en marche



Après vous être assurés que tous les branchements sont correctement effectués (consultez à cet effet le manuel de l'Apple), retirez le disque (le carré noir) de sa pochette de papier et introduisez-le doucement dans le lecteur,

- après avoir ouvert la porte,
- sans le plier ou le tordre,
- en le tenant par l'étiquette, celle-ci étant vers le haut (voir dessin).

Refermez maintenant la porte du lecteur, puis allumez l'écran et l'Apple II. Au cours du lancement, si vous avez un deuxième lecteur de minidisques, ce dernier émettra quelques bruits rauques. Ceci est tout à fait normal.



Peu de temps après la mise en marche (au plus 10 secondes), le sigle de PUCE apparaîtra à l'écran, puis il y aura un petit dessin animé, suivi du titre et d'une courte description du programme. Si cela ne se produisait pas, consultez l'appendice "En cas de pépin", plus loin dans cette section.

**NOTEZ QUE LE DISQUE DOIT CONTINUUELLEMENT DEMEURER DANS LE LECTEUR DURANT L'EXÉCUTION DU PROGRAMME ET QUE LA PORTE DU LECTEUR DOIT DEMEURER BIEN FERMÉE.**

## 1.3 Le menu

Quand vous aurez lu la brève description de "Balistique: une simulation animée" qui apparaît alors à l'écran, vous pourrez appuyer sur la touche «RETURN». C'est alors qu'apparaîtra pour la première fois le menu du programme.

Vous pourrez apprécier tout le potentiel de "Balistique" quand vous en aurez maîtrisé le menu.

Notons qu'il est divisé en deux parties. Les quatre premières lignes, numérotées de 0 à 3 sont au haut de l'écran et il y a des indicateurs ('> > > ... < < <') de chaque côté de la ligne 0.

Il y a 7 autres lignes, numérotées de 4 à ESC. ESC est une touche située en dessous du "1". La touche ESC sert à mettre fin au programme, c'est pourquoi il ne faut pas y toucher en cours d'exécution.

On peut faire un choix dans ce menu en appuyant sur la touche qui porte le chiffre correspondant à la ligne désirée.

Pour les options 0 à 3, il y a une autre possibilité: les indicateurs (actuellement situés de chaque côté de la ligne 0) sont mobiles. On se sert des flèches '←' et '→', situées dans la partie inférieure droite du clavier, pour déplacer les '> > > ... < < <' sur l'écran.

Essayez de déplacer ces indicateurs. Vous avez bien appuyé sur les touches '←' et '→'? C'est facile, n'est-ce pas...? Ces indicateurs ne peuvent pas pointer d'autres lignes que celles commençant par un chiffre compris entre 0 et 3. Quand ces indicateurs sont vis-à-vis une ligne, cette ligne sera automatiquement choisie si on appuie sur la «BARRE» ou sur «RETURN».

À titre d'essai, placez les indicateurs vis-à-vis la ligne 3 et touchez la «BARRE». Le menu disparaîtra et vous verrez apparaître des instructions permettant de changer la valeur de la gravité.

Si vous enfoncez la touche «RETURN», le menu reviendra tout de suite et les indicateurs seront encore vis-à-vis la ligne 3.

Si vous choisissez maintenant une ligne du menu numérotée entre 4 et 9, cette option s'exécutera, puis, au retour du menu, les indicateurs seront toujours vis-à-vis la ligne 3.

L'option encadrée par les indicateurs peut donc être rappelée sur simple pression de la «BARRE» ou de «RETURN». C'est là l'explication de la coupure entre les lignes 3 et 4: les options 4 à 9 ne peuvent pas être rappelées automatiquement — il faut retaper le chiffre — tandis que les options 0 à 3 peuvent être rappelées aisément. Évidemment, elles peuvent être aussi appelées par leur numéro, auquel cas les indicateurs se déplaceront.

Pour un exemple un peu plus poussé, expérimentez en vous aidant des instructions suivantes, ou alors sautez à la prochaine section.

a) Quand le menu est affiché à l'écran, appuyez sur la touche "7", SANS APPUYER SUR «RETURN». L'écran se videra complètement, deux lignes seront dessinées (à gauche et en bas) et vous verrez un petit bloc partir du coin inférieur gauche, monter, puis retomber non loin du centre.

b) Touchez maintenant la «BARRE». Le menu reviendra.

c) Quand le menu est à l'écran, appuyez sur la touche "4". N'APPUYEZ PAS SUR «RETURN» ENSUITE. Une nouvelle page sera affichée à l'écran et on vous dira que précédemment on ne conservait pas la trace. Puis on vous demandera si on doit maintenant conserver ou non la trace.

d) Vous répondez par "O" ou par "N". Dans ce cas-ci, allez-y avec un "O". Le menu reviendra automatiquement.

e) Répétez l'étape a). Cette fois, le carré laissera une trace derrière lui.

f) Laissez le bloc retomber au sol, puis touchez la «BARRE» pour retrouver le menu.

g) Appuyez maintenant sur le chiffre "5". En peu de temps, l'écran se remplira de nombres. Ceux de gauche sont relatifs au point de départ du projectile et ceux de droite sont relatifs au point d'arrivée du projectile.

h) En appuyant sur «RETURN», vous retrouverez le menu.

Pour plus de détails sur chaque option, consultez le premier appendice de cette section-ci.

## 1.4 L'arrêt

Pour mettre un terme au déroulement de "Balistique: une simulation animée", il suffit de choisir, depuis le menu, l'option qui met fin au programme (dernière ligne du menu — touche «ESC»).

Appuyez sur la touche «ESC». L'écran se videra et on vous demandera si vous désirez vraiment quitter "Balistique". Si vous aviez déjà appuyé sur «ESC» par erreur, vous avez constaté cela. En appuyant sur la «BARRE», on annule cette demande d'arrêt et il y a affichage du menu: la tentative d'arrêt est alors oubliée.

Mais, un de ces jours, vous voudrez probablement vous arrêter. Alors confirmez votre désir en appuyant une seconde fois sur «ESC». L'irréversible aura été fait. La machine vous saluera. À partir de ce moment, toute touche enfoncée sur le clavier fera sonner la cloche et affichera la phrase "Éteignez maintenant l'appareil".

C'est ce qu'il vous reste à faire. "Balistique" ne pourra revenir que si vous éteignez puis rallumez l'appareil.

Si vous avez fini, retirez le disque du lecteur et rangez-le dans sa pochette, puis éteignez l'écran et l'ordinateur.

## 1.5 Appendices

### Les options du menu

#### 0... Changer la masse

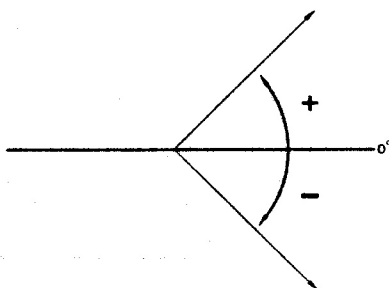
Cette option permet de varier la masse du projectile lancé. La valeur donnée affectera la grosseur du bloc.

#### 1... Changer les positions

Cette option permet de varier le point de départ sur l'écran. Au lancement du programme, le point de départ est fixé à gauche en bas. Le point de départ peut être modifié en deux temps: on demande d'abord une valeur pour  $x$  [ celle-ci déplace le point de départ vers la gauche ( $x$  négatif) ou vers la droite ( $x$  positif) ]. On demande ensuite une valeur pour  $y$  [ celle-ci déplace le point de départ vers le haut ( $y$  positif) ]. On ne peut pas donner de valeur négative à  $y$ : le projectile se trouverait alors sous le sol.

## 2... Changer le vecteur-vitesse

Cette option permet de varier la valeur de la vitesse initiale du projectile. Comme il y a deux façons de donner un vecteur-vitesse, il y a deux façons de la modifier: la méthode du vecteur et de l'angle est obtenue en appuyant sur "V" et la méthode des composantes est obtenue en appuyant sur la lettre "C". La méthode "V" permet de donner une valeur à la vitesse, puis ensuite de donner la direction de cette vitesse à l'aide d'un angle: situé entre  $-180^\circ$  et  $+180^\circ$ , selon la notation trigonométrique ( $0^\circ$  à droite,  $90^\circ$  en haut,  $-90^\circ$  en bas,  $180^\circ$  et  $-180^\circ$  à gauche). La méthode "C" permet de donner la fraction horizontale et la fraction verticale de la vitesse.



## 3... Changer la gravité

Cette option permet de varier la valeur de l'attraction gravitationnelle — autrement dit, de changer de planète. La valeur de départ est  $-9,8 \text{ (m/s)/s}$ , valeur moyenne à la surface de la terre. Il n'est pas possible de mettre des valeurs positives (des gravités dirigées vers le haut) car le programme met automatiquement un signe négatif.

## 4... Contrôler la trace

Cette option permet de laisser ou non une trace derrière le bloc. On n'y répond que par "O" ou "N", le "O" changeant la valeur actuelle pour l'autre valeur, le "N" laissant la valeur inchangée.

### **5... Voir les résultats**

Cette option permet de voir à l'écran les valeurs initiales et finales des diverses variables, ainsi que certains résultats importants. Les chiffres ne seront affichés que si le dernier dessin a été effectué au complet (retour du projectile jusqu'au sol). Si la trajectoire s'est poursuivie hors de l'écran, on obtiendra quand même des résultats adéquats.

### **6.. Ralentir / Accélérer**

Cette option permet de mieux effectuer le dessin. Elle contrôle en fait la longueur de l'intervalle de temps séparant le calcul des valeurs consécutives. Plus le calcul se fait rapidement (valeur élevée pour VIT) plus le dessin est grossier. Plus le calcul se fait lentement (valeur faible pour VIT), plus la trajectoire dessinée (et les résultats) sont proches des valeurs théoriques.

### **7... Faire le dessin**

Cette option permet de faire le dessin et constitue une condition préalable à l'obtention de nouveaux résultats. En cours d'exécution, le dessin peut être interrompu en touchant au clavier. Le dessin est terminé quand le clignotement des points cesse. Le calcul des positions continue même si la trajectoire du projectile se poursuit au delà des limites de l'écran.

### **8... Revoir le dessin**

Cette option permet simplement de revoir l'affichage des trajectoires.

### **9... Effacer le dessin**

Cette option permet de recommencer à neuf le dessin. Précisons qu'il s'agit là de la seule façon d'effacer les traces et que toutes les traces disparaissent quand l'option est sélectionnée. Le menu ne disparaît pas de l'écran durant l'exécution de cette option.

### **ESC... Mettre fin au programme**

Cette option permet d'arrêter la boucle infinie du menu et d'interrompre le déroulement du programme.

Pour ce faire, il faut appuyer sur la touche «ESC» à deux reprises. Il s'agit là d'une mesure de sécurité: si l'on appuie sur cette touche par erreur, il est toujours possible de revenir au menu; par contre, si l'on désire vraiment mettre fin au déroulement du programme, on appuie une seconde fois pour confirmer notre intention.

## Les conditions normales d'opération

Le micro-ordinateur possède des limites quant à l'ordre de grandeur chiffres qu'il peut manipuler. Ainsi, le programme "Balistique" peut rencontrer — dans certains cas très spécifiques — des difficultés d'opération. Voici quelques précisions qui permettront d'éviter d'éventuels problèmes.

\* L'exécution du programme s'effectuera sans problème si on appuie sur «RETURN» en réponse à une demande de changement de valeur; l'ancienne valeur sera alors conservée.

\* En outre, les nombres peuvent être donnés avec la VIRGULE ou le point comme indicateur décimal (mais non les deux, évidemment!). Cependant, la notation exponentielle ne sera pas acceptée. De plus, les espaces entre les chiffres seront oubliés, mais une lettre ou un deuxième indicateur décimal mettra fin au nombre. Par exemple:

1,23A6 sera accepté comme 1,23  
12.36A7 sera accepté comme 12,36  
— 1 9. Z 3 sera accepté comme —19  
B558 sera accepté comme 0

**ATTENTION:** Des nombres contenant plus de 4 chiffres d'un côté ou de l'autre de l'indicateur décimal seront équivalents à zéro.

\* Si on choisit une masse élevée, le dessin sera pour le moins surprenant: le cube deviendra plus gros, et, dans certains cas, le centre fera une trajectoire ne permettant pas au bas du bloc de s'élever au-dessus du sol. Ceci ne trouble en rien la méthode de calcul.

**ON RECOMMANDE DONC** de garder la valeur de la masse entre 0,10 et 10,0 kilogrammes. Pour des valeurs situées hors de cet intervalle, la qualité du dessin en souffrira. Il existe une limite maximale automatique de 500 kg dans la routine de changement de masse. Une masse nulle sera refusée et une masse négative sera considérée comme positive.

\* Si le point de départ est situé hors de l'écran, le mouvement complet risque de se faire en dehors de l'écran, ce qui rendra l'expérience plutôt ennuyeuse. D'ailleurs, vous ne pourrez pas savoir si l'objet est retombé au sol.

\* Si le point de départ est très haut (en dehors de l'écran) et que l'objet est lancé vers le haut, même une vitesse raisonnable peut causer un dépassement de mémoire.

**ON RECOMMANDE DONC** de garder le point de départ à l'intérieur des limites de l'écran, c'est-à-dire:

$$0,0 \text{ m} < x < 54,0 \text{ m}$$

$$0,0 \text{ m} < y < 32,0 \text{ m}$$

Le fonctionnement de "Balistique" ne sera pas modifié par des valeurs situées hors de cet intervalle, mais il y a risque que l'expérience se déroule en dehors de l'écran. Il n'est pas possible de donner une valeur négative à y, car le programme considérerait alors que le projectile est déjà rendu au sol.

\* Si on augmente la vitesse à une valeur supérieure à 250 m/s, la position selon x et/ou la position selon y peuvent finir par excéder les capacités de l'ordinateur.

**ON RECOMMANDE DONC** de garder les vitesses inférieures à 100 m/s. Même avec un vecteur-vitesse de 250 m/s, le programme "Balistique" effectue encore correctement le lancer du projectile mais le temps de vol devient très long.

\* Si la valeur de la gravité est de zéro, le projectile partira en ligne droite et ne reviendra jamais au sol (on aura donc tôt ou tard un dépassement de capacité de calcul). Si la gravité donnée est positive, elle sera automatiquement ramenée à une valeur négative, car une gravité positive (c'est-à-dire dirigée vers le haut) n'engendre pas un mouvement de projectile.

**ON RECOMMANDE DONC** de garder la valeur de la gravité entre 0 et 200 (m/s) /s.

\* Si on demande que la trace soit laissée, il y aura, au centre du bloc, un point blanc qui restera sur l'écran quand le bloc sera effacé. Notons qu'il n'est pas possible d'effacer une seule trace, mais bien l'ensemble des traces affichées à l'écran (avec l'option 9 du menu).

\* Si on augmente la valeur de VIT dans la routine d'animation, le dessin se fait plus vite, mais il est moins exact.

**ON RECOMMANDE DONC** de garder la valeur de VIT entre 0,10 et 1,00. Le programme fonctionnera certainement avec d'autres valeurs, extérieures à cet intervalle, mais la qualité du dessin en souffrira.



## En cas de pépin(s)

Cette section a pour but de vous aider à établir un diagnostic rapide en cas de problème. Tous les cas ne sont pas nécessairement traités, mais il y a quelques cas pour lesquels des remèdes sont suggérés.

Problèmes possibles au lancement du programme "Balistique".

1. Le lecteur de minidisques tourne, tourne et tourne et le mot "APPLE II" reste affiché à l'écran.

- Avez-vous introduit le disque de la façon indiquée?
- Le minidisque est peut-être à l'envers...
- La porte est peut-être mal fermée...

2. Le lecteur de minidisques ne tourne pas et un carré scintille à l'écran.

- ÉTEIGNEZ l'appareil et vérifiez si le lecteur de minidisques est bien branché, ainsi que la carte d'interface du disque (consultez à cet effet le manuel de l'ordinateur Apple).

3. Le lecteur de disque (#1 si vous en avez deux ou plus) émet un raclement inquiétant et le programme ne commence pas tel que prévu.

- ÉTEIGNEZ l'appareil, retirez le disque, remettez-le soigneusement, refermez la porte délicatement et rallumez l'appareil. Si le problème persiste, essayez la même procédure, si vous le pouvez, sur un autre appareil Apple II équipé de façon similaire. Si rien n'a changé, entrez en contact avec l'éditeur.

4. Le lecteur de minidisques #2 (seulement si vous avez plus d'un lecteur) émet quelques raclements inquiétants

- C'est normal, car "Balistique" est écrit en Pascal. Au lancement du programme, le Pascal inspecte tous les appareils branchés. Or, puisqu'il n'y a pas de minidisque dans ce lecteur, la tête cherchera en vain le disque — d'où ce bruit peu agréable.

5. Tout en haut de l'écran, sous la ligne "Apple II", apparaît la ligne suivante, ou une ligne du même genre:

03F4— A=FD X=00 Y=A0 P=B5 S=F9

\*

- Il y a fort probablement un problème avec la carte langage (ou 16K). ÉTEIGNEZ l'appareil et vérifiez si elle est bien branchée.

6. La cloche de l'ordinateur Apple sonne à quelques reprises et tout semble arrêté.

- Vous avez probablement une imprimante dont la carte d'interface ne tolère pas les vérifications du Pascal. Il vous suffit d'allumer l'imprimante, d'appuyer sur «RETURN» et d'éteindre ensuite l'imprimante. Ce petit jeu se fera à chaque fois que vous voudrez relancer le système (ON/OFF ou «CTRL» + «RESET»).

Problèmes possibles en cours d'exécution du programme "Balistique".

7. Le programme s'arrête net, sans raison apparente et il y a un écran vide. Cela PEUT être causé par un dépassement de la capacité de calcul.

- Dans ce cas, il n'y a qu'une solution: pianotez sur le clavier. Si rien ne se produit, actionnez la clé «RESET» (sur plusieurs appareils Apple, la clé «RESET» ne fonctionne que si elle est appuyée en conjonction avec la touche «CTRL»). Tout le système sera relancé et le programme reprendra son cours normal. Si cela devait ne rien donner éteignez et rallumez l'appareil.

8. Le programme semble fonctionner normalement (en tapant des chiffres, le disque se met en marche puis s'arrête) mais il n'y a plus rien à l'écran.

- Vérifiez si l'écran est toujours branché à l'appareil.
- Essayez «CTRL»-A. Si le texte ne reparaît pas, appliquez la procédure suggérée précédemment (problème 7).

9. Le lecteur de minidisques émet un bruit bizarre à plusieurs reprises.

- La porte est peut-être mal fermée ou le disque a peut-être été enlevé. "Balistique" NE PEUT PAS tourner si le disque est absent. Remettez le disque ou refermez soigneusement la porte. Si le programme ne reprend pas son cours, tentez la solution suggérée pour le problème 7.

Quoi qu'il en soit, un fil mal branché ou une ligne électrique surchargée peut causer des problèmes apparemment inexplicables. Assurez-vous d'abord que ce n'est pas l'environnement qui cause le problème en changeant d'endroit.

## **2. Guide de l'élève**

### **2.1 Au jeu!!!**

**Vous avez probablement hâte de savoir ce que peut faire "Balistique: une simulation animée". C'est pourquoi nous vous encourageons à faire fonctionner tout de suite le programme. Lisez le mode d'emploi général (section #1) et jouez un moment avec le programme.**

**Explorez rapidement ce que fait chaque option du menu.**

**Et même, amusez-vous à répondre illogiquement aux questions — histoire de mieux connaître "Balistique". Si l'appareil venait à ne plus répondre à la suite de vos tentatives, éteignez et rallumez l'appareil.**

**Quand vous aurez exploré suffisamment le programme, revenez lire la suite de ce texte.**

### **2.2 L'attaque systématique**

**Le programme dessine sur l'écran la trajectoire d'une balle lancée de diverses façons. Vous pouvez contrôler diverses caractéristiques, par exemple, le point de départ, la vitesse, etc.. Le dessin simulera la réalité.**

**"Balistique" vise à vous faire découvrir quelque chose. Mais quoi exactement? Tout dépend de vous et de la recherche que vous vous proposez de faire. Voici quelques jalons qui vous aideront à entreprendre vos recherches.**

**À titre d'exemple, voici quelques possibilités: vous pourriez essayer de changer deux ou trois quantités (masse, vitesse, angle, gravité) pour essayer de tomber au même endroit. Vous pourriez changer uniquement l'angle pour voir quelle valeur permet d'obtenir une portée maximale. Vous pourriez chercher diverses combinaisons qui permettraient au projectile de frôler le haut de l'écran...**

Pour votre étude, vous contrôlez (vous pouvez changer la valeur de) certaines "variables". Ces variables sont:

1: La masse de l'objet lancé.

2: La position de départ (à l'horizontale (x) comme à la verticale (y)).

3: La vitesse de départ (la vitesse et son angle avec l'horizontale OU BIEN les fractions verticale et horizontale de la vitesse).

4: La gravité (dans la vie courante, ceci n'est pas une variable, car elle dépend de la planète située sous le projectile).

Les autres quantités qui apparaissent au menu n'affectent pas le mouvement (voir l'appendice 1 de la section précédente pour plus de détails).

Après avoir modifié la valeur des variables de la façon désirée, le choix "faire le dessin" (#7) permet de "réaliser" l'expérience avec les nouvelles valeurs.

Il est possible d'obtenir les résultats directement depuis le menu (#5), à condition que l'on ait, au préalable, fait réaliser le dessin au complet (#7). En plus d'avoir les valeurs de départ des variables, vous obtiendrez les valeurs finales de ces mêmes variables.

Il y aura également trois résultats affichés à l'écran:

1: La portée (distance horizontale entre le point de départ et le point d'arrivée)

2: Le temps de vol (le nombre de secondes qu'aurait pris un tel projectile pour effectuer sa course)

3: La hauteur maximale atteinte au cours de la trajectoire.

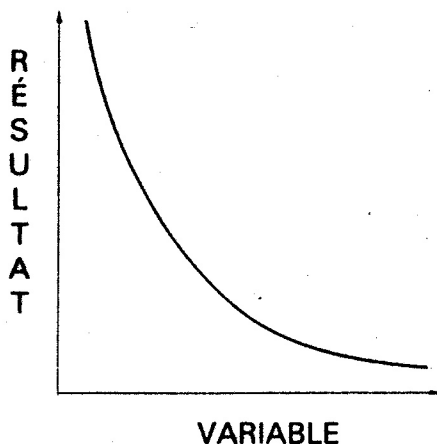
Une des façons d'utiliser "Balistique" est d'explorer l'effet d'une ou de plusieurs variables sur les résultats et d'énoncer la règle qui les relie.

### Points de repère

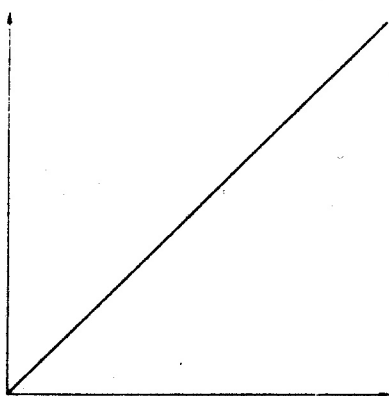
- Il est préférable de ne changer qu'une variable entre chaque dessin et chaque demande de résultats: on peut mieux observer l'effet de la variable sur le résultat. À cette fin, le menu redonne la dernière variable demandée (options 0 à 3) si l'on appuie sur la «BARRE» ou sur «RETURN» lorsque le menu est affiché.
- Pour organiser sa recherche, on peut établir clairement quelle(s) sera(seront) la(les) variable(s) contrôlée(s) et quel(s) sera(seront) le(s) résultat(s) à observer.
- Pour recueillir des chiffres à l'aide de l'option #5, on recommande de faire un tableau à deux ou plusieurs colonnes, et d'y inscrire, coup après coup, toutes les valeurs intéressantes à étudier.

	VARIABLE	RÉSULTATS	
	vitesse x	portée	hauteur max.
coup #1	....	....	....
coup #2	....	....	....
coup #3	....	....	....
coup #4	....	....	....

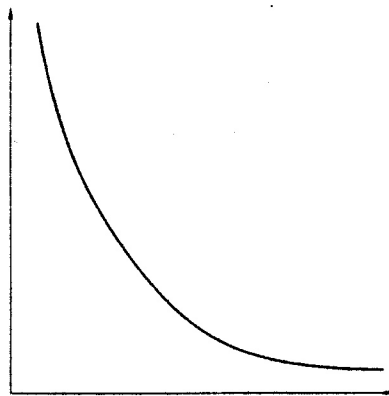
- Pour mieux interpréter les valeurs, ces tableaux peuvent être transformés en graphiques:



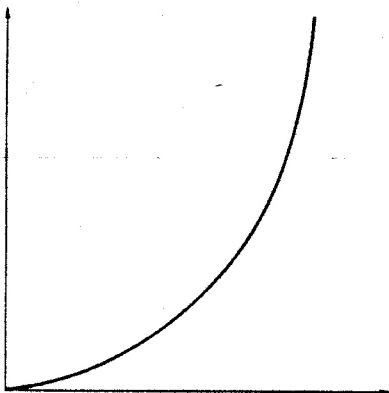
Rappelons que chaque relation mathématique possède une courbe très caractéristique. En voici quelques-unes:



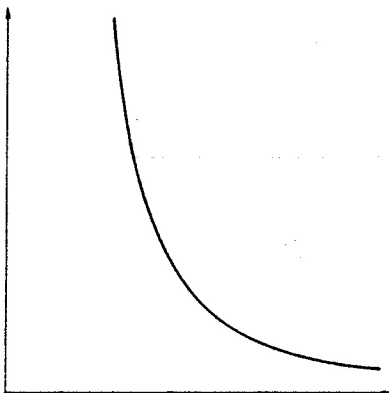
proportionnelle



inverse



au carré



inverse du carré

• Il est possible d'analyser, avec une calculatrice, les résultats obtenus. Voici un exemple.

	VARIABLE	RÉSULTAT
essai #1	10	46
essai #2	...	...
essai #3	13	52
essai #4	17	60
essai #5	...	...

En se servant d'une calculatrice, on peut découvrir le lien entre la variable et le résultat. La variable passe de 10 à 13 entre les essais 1 et 3. Le résultat passe alors de 46 à 52. La variable augmente de 3 unités et le résultat de 6 unités. Entre les essais 3 et 4, la variable augmente de 4 unités et le résultat change de 8 unités. On peut déjà voir le lien entre la variable et le résultat, même si cela n'était pas possible à première vue.

- Il est possible de faire des hypothèses. En continuant avec l'exemple précédent, on pourrait dire que la variation du résultat est le double de la variation de la variable...

- On peut aussi vérifier ces hypothèses. Avec des données supplémentaires, on vérifie l'hypothèse déjà avancée. Rappelez-vous que trois paires de données ne suffisent pas toujours à mettre une relation en évidence.

- Et on peut même généraliser... Peut-être que la relation entre deux quantités se retrouve entre deux autres quantités? Peut-être peut-on grouper des relations. Par exemple, si A est proportionnel à B et que A est aussi proportionnel à C, on peut dire que A est proportionnel à B fois C.



## 2.3 Variétés

Vous avez peut-être épuisé votre intérêt pour "Balistique"? Lisez les problèmes qui suivent et vous verrez que le programme peut encore vous aider. Vous trouverez ici toutes sortes de problèmes pêle-mêle, certains sont difficiles, d'autres non. Amusez-vous bien!

● Voici les gravités de surface des planètes du système solaire.

Mercure: 3,62 (m/s)/s

Vénus: 8,62 (m/s)/s

Terre: 9,80 (m/s)/s

Mars: 3,72 (m/s)/s

Jupiter: 25,8 (m/s)/s

Saturne: 11,3 (m/s)/s

Uranus: 11,5 (m/s)/s

Neptune: 11,6 (m/s)/s

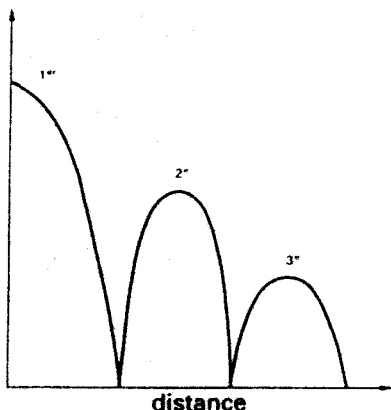
Pluton: 0,23 (m/s)/s

Soleil: 274, (m/s)/s

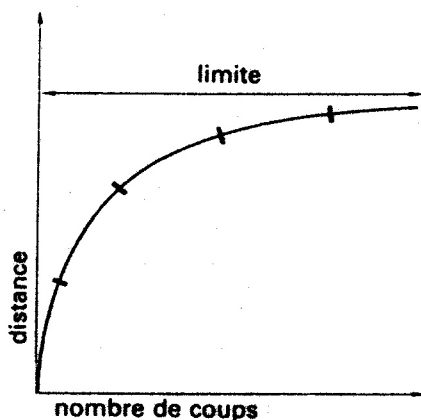
Lune: 1,67 (m/s)/s

Pour tous ces cas, trouvez quel est l'angle nécessaire pour faire tomber le projectile à 50 m du point de départ. La vitesse au départ est 10 m/s. Y a-t-il des cas où cela est impossible? Et pourquoi donc? Comment peut-on les détecter à l'avance?

● En utilisant les valeurs de gravité citées au numéro précédent, trouvez quelle distance parcourt une balle de golf lancée à 30 degrés et à 60 m/s sur diverses planètes.



• Vous pouvez tenter de trouver jusqu'à quelle distance horizontale peut aller une balle sautillante qui perd 15% de sa vitesse verticale à chaque rebondissement. (Truc technique: juxtaposez plusieurs mouvements bout à bout en prenant le point d'arrivée du premier comme point de départ pour le deuxième et en mettant la vitesse verticale à 85% de celle du départ précédent.)



Vous pouvez même utiliser un graphique pour trouver la valeur limite: placez sur un axe la distance parcourue (somme des portées de chaque coup) et sur l'autre le nombre de coups.

• Théoriquement, les trajectoires inverses sont identiques et prennent le même temps. Vérifiez-le à l'aide de "Balistique" en mettant les valeurs d'arrivée à la place des valeurs de départ (et en changeant les signes si nécessaire).

• On vous a peut-être raconté qu'un objet lancé horizontalement met le même temps à tomber d'une hauteur donnée qu'un objet identique lâché sans vitesse de cette même hauteur. Est-ce que "Balistique" peut le démontrer? Est-ce vrai pour toutes valeurs de gravités?

(Truc technique: répétez deux lancements, à partir du même point de départ et avec la même vitesse verticale, mais avec des vitesses horizontales différentes — dont l'une est 0 m/s.)

● Vous avez sûrement remarqué, étant plus jeune, qu'un mince filet d'eau qui coule d'un robinet finit par se briser en gouttelettes AVANT d'arriver au fond de l'évier.

Avez-vous assez joué avec "Balistique" pour expliquer ce phénomène? Sinon, voici une piste: au milieu de l'écran, laissez tomber une très petite masse. Regardez sa trace...

● Deux masses différentes lâchées d'une même hauteur au même instant arrivent au sol en même temps. Absurde, non? Qu'en dit "Balistique"?

Vous pouvez laissez tomber (en deux coups distincts) des masses différentes depuis une même hauteur. Changez seulement la masse et la position selon x entre les deux essais.

● Pourquoi ne pas confronter "Balistique" avec la réalité?

"Pour ceux et celles qui viendraient de se joindre à nous, ce match des Séries mondiales vous parvient du Stade olympique où la foule est survoltée. C'est la septième et dernière partie et on joue en surtemps: c'est la seconde moitié de la douzième manche et les Expos sont au bâton. Il y a deux retraits, deux joueurs sur les sentiers et les Expos tirent de l'arrière 3 à 1. Le frappeur des Expos est prêt, le lanceur des Méchants aussi. Voici le lancer... ... CLOC! La balle est frappée solidement en direction du champ centre! C'est loin!!! C'est très loin!!! Mais le voltigeur court vite. Il approche de la piste d'atterrissage..."

Nous ne pouvons malheureusement compléter ce reportage. Sachez cependant que la balle a été frappée à 40 degrés, avec une vitesse de 40 m/s et que la clôture du champ centre est à 123 m du marbre. Doit-on sortir le champagne ou les mouchoirs?

● L'amiral Phipps attend devant Québec. Pendant ce temps, c'est bien connu, Frontenac gargarise ses canons. Il y en a à deux endroits: ceux de la Citadelle, à 30 m d'altitude et à 50 m du bord de l'eau qui peuvent tirer à des angles variant entre -5 et + 10 degrés, et, ceux du bord de l'eau, dont les angles varient entre 15 et 35 degrés. Si la vitesse de tous les boulets est de 100 m/s (peu importe l'angle), peut-on atteindre les bateaux de l'amiral, qui mouillent à 400 m de la rive? Si oui, donnez vos chiffres et expliquez votre réponse. (N'oubliez pas que les boulets lancés depuis la Citadelle ont 50 m de plus à franchir pour atteindre la cible).

● On peut comparer facilement la théorie et la réalité en laboratoire avec "Balistique". Il faut cependant ajuster VIT (dans la routine "ralentir / accélérer") à environ 1,78 (ce chiffre est approximatif). On tente alors des expériences: on déclenche simultanément le dessin et l'objet qui tombe réellement. La plupart des laboratoires de physique possèdent des déclencheurs électromagnétiques et des chronomètres précis.

## **3. Guide de l'enseignant**

### **3.1 Comment commencer?**

Nous recommandons fortement au professeur qui utilise "Balistique" comme support à son enseignement de suivre le guide de l'élève (section 2) avant de continuer à lire cette section.

On aura alors eu la chance de découvrir ce que l'élève pourra vivre, et, par le fait même, de mieux surmonter les difficultés rencontrées.

### **3.2 Les aspects pédagogiques**

#### **Les objectifs**

"Balistique" peut être utilisé de diverses façons. Dans sa conception première, il se voulait un programme facilitant l'exploration de la théorie des projectiles, devant être abordé avec beaucoup de méthode.

Mais dans sa version actuelle, il peut servir à beaucoup d'actes pédagogiques. Il peut illustrer des points de théorie, par exemple, ou servir à calculer et à comparer les résultats de certains problèmes. Cependant, c'est en restant fidèle à l'idée originale que l'on peut le plus apprécier sa valeur et son efficacité.

#### **Quelques justifications**

"Balistique" est une source rapide et fiable de situations pédagogiques sur la théorie des projectiles.

On peut produire de nombreux dessins et calculer des résultats théoriques très rapidement.

"Balistique" est interactif, c'est-à-dire que son déroulement est dirigé par la personne assise devant le clavier. Il est possible de contrôler réellement le déroulement du programme et de faire exactement ce que l'on désire. C'est donc un outil pour quiconque désire être l'artisan de son propre savoir.

**"Balistique"** est particulièrement adapté à l'auto-exploration car il peut réagir n'importe quand à diverses demandes. Ce n'est pas un didacticiel-canal où un seul cheminement est possible. C'est un programme non limité dans le temps, puisque sa partie principale est bâtie en boucle infinie.

On peut utiliser à fond la méthode inductive avec **"Balistique"**, c'est-à-dire que l'on peut rechercher une loi à partir de faits. Précisons qu'il s'agit là du contraire de ce qui se fait généralement dans un cours de science où on pilote l'élève à travers une série de déductions. L'approche inductive peut sembler moins efficace en termes de temps requis, par contre, elle seule permet de franchir naturellement toutes les étapes de la méthode scientifique.

Enfin, un autre avantage du programme **"Balistique"** réside dans sa nouveauté et dans sa variété. L'élève aura beaucoup d'intérêt à faire réagir le programme. Aucun cahier d'exercices ni enseignant n'est capable d'accorder autant d'attention à un seul élève d'un groupe. Le même programme peut servir de diverses façons (consulter la section 2.3).

Les exercices accompagnant **"Balistique"** ont pour but de raviver l'intérêt pour le sujet. On peut, bien sûr, les utiliser hors-programme, si on le désire, mais ce sont des problèmes impliquant beaucoup de calculs ou des problèmes acceptant plusieurs solutions. Ils sont donc tout particulièrement adaptés pour accompagner une étude active des projectiles.

## **Le nouveau rôle du professeur**

Le nouveau rôle de l'enseignant est celui d'un compagnon qui voyage avec l'élève et qui l'aide à voir les subtilités du paysage. L'élève fait le chemin de lui-même, il ne se fait plus porter ou tirer. Il devient le principal agent et le responsable de son propre apprentissage. Dans cette perspective, l'enseignant devient une personne-ressource importante.

Le compagnon d'apprentissage de l'élève saura lui suggérer des chemins qui mènent à de nouvelles frontières ou des chemins nouveaux menant à des endroits connus.

Il demeure que l'élève fera le trajet lui-même et qu'il faudra le laisser s'engager dans des impasses. C'est ainsi qu'il pourra apprendre à les reconnaître.

L'enseignant doit apprendre à résister aux demandes des élèves; par habitude, ceux-ci demanderont directement les réponses. L'enseignant devra s'habituer à ne pas les donner mais plutôt à encourager la recherche et stimuler la curiosité.

## **Quelques modes d'intervention**

Si on dispose de très peu de machines (10 élèves ou plus par machine), on pourra opérer soi-même le programme, MAIS on trahira ainsi la pensée du didacticiel "Balistique" qui deviendra alors un simple tableau noir électronique. Dans un tel cas, il serait beaucoup plus valable de former des équipes de 3 élèves et de les laisser travailler avec "Balistique" pour des périodes n'excédant pas vingt minutes, pendant que le reste du groupe fera divers exercices. Il sera important de leur permettre de travailler sur le programme à plusieurs reprises.

On pourra leur demander d'explorer la relation entre deux quantités bien précises, mais il serait préférable de les laisser chercher une relation quelconque.

Ils mettront alors plus de temps à la découvrir mais ils auront probablement mieux profité de l'expérience. Il serait souhaitable de ne pas trop leur expliquer le fonctionnement du programme, mais plutôt de les inciter à explorer le menu et à lire le manuel.

Si on dispose de plus de machines, les mêmes méthodes peuvent être implantées mais on pourra alors laisser les élèves travailler plus longtemps.

Quelle que soit la situation pédagogique, il n'est pas nécessaire d'utiliser "Balistique" pour toute la théorie des projectiles. Le programme est un support à l'enseignement et n'est pas en soi la seule solution à tous les problèmes de didactique.

## **L'évaluation**

Il est toujours nécessaire, dans notre système d'éducation, de procéder à l'évaluation. Avec "Balistique", divers modes d'évaluation sont possibles. Voici quelques suggestions.

- On peut demander un court texte décrivant le mouvement des projectiles en général.
- Un rapport d'expérience détaillé sur le lien qui existe entre telle ou telle quantité (graphiques, tableaux...).
- Un simple graphique avec identification de la relation mathématique entre les quantités, celles-ci étant choisies par l'élève.
- Une vérification de la loi déjà énoncée.  
ex:  $y - y_0 \propto a_y (t)^2$
- On peut assigner des gravités différentes à diverses équipes et faire ensuite vérifier les travaux d'une équipe par une autre.
- À la limite, "Balistique" peut être utilisé pour transformer des vecteurs de la forme "Vecteur et Angle" à la forme "composantes x et y" (polaire <-> rectangulaire).

Il nous ferait plaisir de recevoir, chez PUCE, vos idées et vos expériences. Ainsi, des tirages subséquents de "Balistique" pourraient être enrichis. Votre collaboration serait évidemment soulignée dans le guide.



### 3.3 Les aspects théoriques

#### La théorie fondamentale

Les équations qui régissent le mouvement des projectiles sont généralement données sous la forme suivante.

Mouvement vertical (y:t):

$$y = y_0 + v_{y0} \cdot \Delta t + \frac{1}{2} a_y \cdot (\Delta t)^2$$

$$v_y = v_{y0} + a_y \cdot \Delta t$$

$$v_y^2 = v_{y0}^2 + 2 a_y \cdot (y - y_0)$$

Mouvement horizontal (x:t):

$$x = x_0 + v_{x0} \cdot \Delta t$$

$$v_x = v_{x0}$$

(Tous les termes contenant  $a_x$  sont nuls car  $a_x = 0$ )

Mouvement relatif (y:x):

$$(y - y_0) = \frac{a_y}{2v_{x0}^2} (x - x_0)^2 + \frac{v_{y0}}{v_{x0}} (x - x_0)$$

ce qui est de la forme:

$$y = A x^2 + B x + C$$

(la trajectoire est parabolique).

## **La justification des variables**

On a prévu 4 variables: masse, position, vecteur-vitesse et gravité (accélération). Deux d'entre elles (position et vecteur-vitesse) se subdivisent en deux à cause de leurs composantes selon les axes x et y. Il y a donc, en réalité, 6 variables.

L'une d'elle n'a aucun effet (la masse) puisqu'on ne contrôle pas la force du lancer mais plutôt la vitesse du lancer. La masse n'apparaît d'ailleurs nulle part dans les équations de la sous-section précédente. Il nous a paru important de l'inclure au menu, simplement parce que beaucoup sont convaincus qu'elle joue un rôle.

Plusieurs personnes diront d'ailleurs que le programme est fautif (car la masse n'a pas d'influence) avant d'admettre que la masse ne joue aucun rôle. Il peut donc devenir nécessaire, avec certains, de faire un retour théorique sur l'expérience de "Balistique" pour clarifier certains points.

Il est à noter que l'accélération vers le haut est refusée par le programme, de même que l'accélération à l'horizontale. Ce n'est pas par impossibilité de programmation, mais plutôt parce que ces quantités auraient pour effet de causer un mouvement ne correspondant pas à la théorie des projectiles. C'est donc volontairement qu'elles ont été omises.

Quant à la gravité on remarque que les unités sont écrites sous la forme:

$(m/s)/s \rightarrow [vitesse] / [temps]$   
plutôt que sous la forme traditionnelle  
 $m/s^2 \rightarrow [distance] / [temps \text{ au carré}]$

Cette façon de les nommer nous semble plus fidèle au concept même de l'accélération (variation de vitesse par unité de temps) et elle semble être mieux saisie par les élèves.

## Les relations pouvant être observées

Dans les relations suivantes, à chaque ligne, toutes les variables sont maintenues à une valeur constante, SAUF celle qui est inscrite dans la première colonne de la ligne. Les autres colonnes indiquent la relation existant entre cette variable (à gauche) le résultat (en haut de la colonne).

### Trajectoires paraboliques complètes

	Portée	Hauteur Maximale	Temps de vol	$V_y$ finale
$x_0$	constante	constante	constante	constante
$y_0$	On ne permet pas à $y_0$ de varier car la parabole ne pourra pas être complétée.			
$V$	au carré	proportionnelle	au carré	proportionnelle
angle	$\sin \times \cos$	$\sin$	$\sin^2$	$\sin$
$v_x$	proportionnelle	constante	constante	constante
$v_y$	proportionnelle	au carré	proportionnelle	égale/opposée
$a_y$	inverse	inverse	inverse	constante
$m$	constante	constante	constante	constante

## Trajectoires en demi-parabole

	Portée	Hauteur Maximale	Temps de vol	$V_y$ finale
$x_0$	constante	constante	constante	constante
$y_0$	racine	égale	racine	racine
$V$	Le comportement de $V$ est identique à celui de $v_x$ .			
angle	L'angle doit être maintenue à 0 pour la demi-parabole.			
$v_x$	proportionnelle	constante	constante	constante
$v_y$	On ne permet pas à $V_y$ de varier car la demi-parabole ne serait plus possible.			
$a_y$	inverse de la racine	constante	inverse de la racine	racine
$m$	constante	constante	constante	constante

### Les autres trajectoires (notions avancées)

Il faut se rappeler que toutes les courbes sont de la famille des paraboles. Cependant, comme il est difficile de tirer des relations claires à partir des chiffres, gardons à l'esprit qu'une portion quelconque d'une parabole (plus d'une demi-parabole) peut être considérée comme la somme de deux demi-paraboles (la moitié gauche étant différente de la moitié droite). Quant aux portions de parabole plus petites qu'une demi-parabole, on peut les considérer comme une différence de deux demi-paraboles (de même courbure). De cette façon, il est possible d'analyser les valeurs obtenues.

## **L'exactitude des réponses et la méthode de calcul**

Les nombres réels n'étant précis qu'à 4 décimales et leur mode de représentation interne binaire, l'exactitude des réponses peut venir à faire défaut au bout de très longues séries d'opérations successives (environ 1% à 2%).

C'est pourquoi il peut y avoir des décimales théoriquement inexactes dans les réponses calculées.

La méthode de calcul utilise les équations citées à la section 3.3 et met le temps total écoulé comme  $\Delta t$  dans les équations. (Il aurait été possible de calculer les positions et vitesses à partir des vitesses actuelles, mais des inexactitudes apparaissaient plus tôt).

Il est à noter que le Système International est accepté et utilisé de façon intégrale tout au long de "Balistique" et que les nombres décimaux peuvent être donnés AUSSI BIEN à la façon SI (la virgule indique le cadrage décimal) qu'à la façon des ordinateurs (le point indique le cadrage décimal). Toutes les réponses affichées le sont cependant à la façon du Système International.

## **Le temps réel**

Si on chronomètre un lancer à l'écran, on verra que le temps du chronomètre diffère de celui indiqué dans le programme par un facteur constant. Le temps affiché à l'écran est celui que prendrait l'expérience à se faire si elle était réelle et non pas le temps qu'elle met à être dessinée.

On peut faire correspondre ces deux temps en donnant à VIT (dans la routine "ralentir/accélérer") la valeur 1,78. Ceci nuira évidemment à la qualité du dessin, mais permettra de comparer une expérience réelle à celle de "Balistique".

### **3.4 Conclusion**

**Ce didacticiel est un outil. Comme avec n'importe quel outil, il faut lire le manuel, seul lien entre le concepteur et l'utilisateur. Mais il faut aussi maîtriser l'outil; ceci ne peut se produire que par une pratique régulière.**

**En utilisant ce programme, vous aurez peut-être des idées pour de nouvelles applications. Nous aimerions que vous nous en fassiez part. Votre participation serait soulignée lors d'une version subséquente de ce guide.**

**Tout commentaire ou critique sera apprécié.**